

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
21. Oktober 2004 (21.10.2004)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2004/090470 A1

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: G01C 19/56

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2004/003247

(22) Internationales Anmeldedatum:
26. März 2004 (26.03.2004)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
103 17 159.2 14. April 2003 (14.04.2003) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme
von US): LITEF GMBH [DE/DE]; Lörracher Strasse 18,
79115 Freiburg (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): SCHRÖDER, Werner
[DE/DE]; Büsagstrasse 14, 77955 Ettenheim (DE).

(74) Anwalt: MÜLLER, Frithjof, E.; Müller-Hoffmann &
Partner, Innere Wiener Strasse 17, 81667 München (DE).

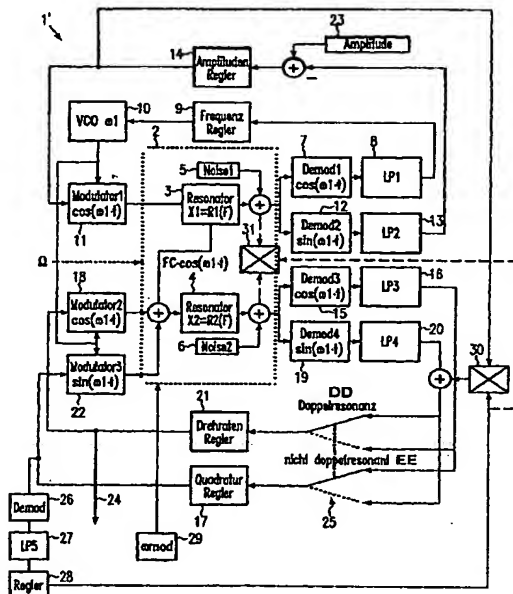
(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,
CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI,
GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE,
KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD,
MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG,
PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM,
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM,
ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM,
ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR COMPENSATING A ZERO-POINT ERROR IN A VIBRATORY GYROSCOPE

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR KOMPENSATION EINES NULLPUNKTFEHLERS IN EINEM CORIOLISKREISEL



14... AMPLITUDE REGULATOR
9... FREQUENCY REGULATOR
21... ROTATIONAL SPEED REGULATOR
17... QUADRATURE REGULATOR
28... REGULATOR
DD... DOUBLE RESONANCE
EE... NO DOUBLE RESONANCE

(57) Abstract: In a method for determining the zero-point error of a vibratory gyroscope (1'): the frequency of the readout vibration is modulated; the output signal of a rotational-speed closed loop or quadrature closed loop of the vibratory gyroscope (1') is demodulated synchronously with the modulation of the frequency of the readout vibration to obtain an auxiliary signal that represents a value for the zero-point error; and a compensatory signal is generated and applied to the input of the rotational-speed closed loop, said compensatory signal being regulated in such a way that the intensity of the auxiliary signal is as low as possible.

(57) Zusammenfassung: Bei einem Verfahren zur Ermittlung des Nullpunktfehlers eines Corioliskreisels (1') wird die Frequenz der Ausleseschwingung moduliert, das Ausgangssignal eines Drehratenregelkreises oder Quadraturregelkreises des Corioliskreisels (1') synchron zur Modulation der Frequenz der Ausleseschwingung demoduliert, um ein Hilfssignal zu erhalten, das ein Mass für den Nullpunktfehler ist, ein Kompensationssignal erzeugt, das auf den Eingang des Drehratenregelkreises oder Quadraturregelkreises gegeben wird, wobei das Kompensationssignal so geregelt wird, dass die Grösse des Hilfssignals möglichst klein wird.

WO 2004/090470 A1



TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht

1 **Verfahren zur Kompensation eines Nullpunktfehlers in einem
Corioliskreisel**

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Kompensation eines
5 Nullpunktfehlers in einem Corioliskreisel.

Corioliskreisel (auch Vibrationskreisel genannt) werden in zunehmendem
Umfang zu Navigationszwecken eingesetzt. Corioliskreisel weisen ein
Massensystem auf, das in Schwingungen versetzt wird. Diese Schwingung
10 ist in der Regel eine Überlagerung einer Vielzahl von Einzelschwingungen.
Diese Einzelschwingungen des Massensystems sind zunächst voneinander
unabhängig und lassen sich jeweils abstrakt als "Resonatoren" auffassen.
Zum Betrieb eines Vibrationskreisels sind wenigstens zwei Resonatoren
erforderlich: einer dieser Resonatoren (erster Resonator) wird künstlich zu
15 Schwingungen angeregt, die im Folgenden als "Anregungsschwingung"
bezeichnet wird. Der andere Resonator (zweiter Resonator) wird nur dann zu
Schwingungen angeregt, wenn der Vibrationskreisel bewegt/gedreht wird. In
diesem Fall treten nämlich Corioliskräfte auf, die den ersten Resonator mit
dem zweiten Resonator koppeln, der Anregungsschwingung des ersten
20 Resonators Energie entnehmen und diese auf die Ausleseschwingung des
zweiten Resonators übertragen. Die Schwingung des zweiten Resonators
wird im Folgenden als "Ausleseschwingung" bezeichnet. Um Bewegungen
(insbesondere Drehungen) des Corioliskreisels zu ermitteln, wird die
Ausleseschwingung abgegriffen und ein entsprechendes Auslesesignal (z. B.
25 das Ausleseschwingungs-Abgriffsignal) daraufhin untersucht, ob
Änderungen in der Amplitude der Ausleseschwingung, die ein Maß für die
Drehung des Corioliskreisels darstellen, aufgetreten sind. Corioliskreisel
können sowohl als Open-Loop-Systeme als auch als Closed-Loop-Systeme
realisiert werden. In einem Closed-Loop-System wird über jeweilige
30 Regelkreise die Amplitude der Ausleseschwingung fortlaufend auf einen
festen Wert - vorzugsweise null - zurückgestellt.

Im Folgenden wird zur weiteren Verdeutlichung der Funktionsweise eines
Corioliskreisels unter Bezugnahme auf Figur 2 ein Beispiel eines
35 Corioliskreisels in Closed-Loop-Ausführung beschrieben.

Ein solcher Corioliskreisel 1 weist ein in Schwingungen versetzbares

- 2 -

1 Massensystem 2 auf, das im Folgenden auch als "Resonator" bezeichnet
wird. Diese Bezeichnung ist zu unterscheiden von den oben erwähnten
"abstrakten" Resonatoren, die Einzelschwingungen des "echten" Resonators
5 "Resonatoren" (erster Resonator 3 und zweiter Resonator 4) aufgefasst
werden. Sowohl der erste als auch der zweite Resonator 3, 4 sind jeweils an
einen Kraftgeber (nicht gezeigt) und an ein Abgriffssystem (nicht gezeigt)
gekoppelt. Das Rauschen, das durch die Kraftgeber und die Abgriffssysteme
erzeugt wird, ist hier durch Noise1 (Bezugszeichen 5) und Noise2
10 (Bezugszeichen 6) schematisch angedeutet.

Der Corioliskreis 1 weist des Weiteren vier Regelkreise auf:

15 Ein erster Regelkreis dient zur Regelung der Anregungsschwingung (d.h. der
Frequenz des ersten Resonators 3) auf eine feste Frequenz
(Resonanzfrequenz). Der erste Regelkreis weist einen ersten Demodulator 7,
ein erstes Tiefpassfilter 8, einen Frequenzregler 9, einen VCO ("Voltage
Controlled Oscillator") 10 und einen ersten Modulator 11 auf.

20 Ein zweiter Regelkreis dient zur Regelung der Anregungsschwingung auf
eine konstante Amplitude und weist einen zweiten Demodulator 12, ein
zweites Tiefpassfilter 13 und einen Amplitudenregler 14 auf.

25 Ein dritter und ein vierter Regelkreis dienen zur Rückstellung derjenigen
Kräfte, die die Ausleseschwingung anregen. Dabei weist der dritte Regelkreis
einen dritten Demodulator 15, ein drittes Tiefpassfilter 16, einen
Quadraturregler 17 und einen dritten Modulator 22 auf. Der vierte
Regelkreis enthält einen vierten Demodulator 19, ein viertes Tiefpassfilter
20, einen Drehratenregler 21 und einen zweiten Modulator 18.

30

Der erste Resonator 3 wird mit dessen Resonanzfrequenz ω_1 angeregt. Die
resultierende Anregungsschwingung wird abgegriffen, mittels des ersten
Demodulators 7 in Phase demoduliert, und ein demoduliertes Signalanteil
wird dem ersten Tiefpassfilter 8 zugeführt, der daraus die
35 Summenfrequenzen entfernt. Das abgegriffene Signal wird im Folgenden
auch als Anregungsschwingungs-Abgriffssignal bezeichnet. Ein
Ausgangssignal des ersten Tiefpassfilters 8 beaufschlagt einen

- 1 Frequenzregler 9, der in Abhängigkeit des ihm zugeführten Signals den VCO
10 so regelt, dass die In-Phase-Komponente im Wesentlichen zu Null wird.
Dazu gibt der VCO 10 ein Signal an den ersten Modulator 11, der seinerseits
einen Kraftgeber so steuert, dass der erste Resonator 3 mit einer
5 Anregungskraft beaufschlagt wird. Ist die In-Phase-Komponente Null, so
schwingt der erste Resonator 3 auf seiner Resonanzfrequenz ω_1 . Es sei
erwähnt, dass sämtliche Modulatoren und Demodulatoren auf Basis dieser
Resonanzfrequenz ω_1 betrieben werden.
- 10 Das Anregungsschwingungs-Abgriffsignal wird des Weiteren dem zweiten
Regelkreis zugeführt und durch den zweiten Demodulator 12 demoduliert,
dessen Ausgabe das zweite Tiefpassfilter 13 passiert, dessen Ausgangssignal
wiederum dem Amplitudenregler 14 zugeführt wird. In Abhängigkeit dieses
Signals und eines Soll-Amplitudengebers 23 regelt der Amplitudenregler 14
15 den ersten Modulator 11 so, dass der erste Resonator 3 mit einer
konstanten Amplitude schwingt (d.h. die Anregungsschwingung weist eine
konstante Amplitude auf).
- Wie bereits erwähnt wurde, treten bei Bewegung/Drehungen des
20 Corioliskreisels 1 Corioliskräfte – in der Zeichnung durch den Term
 $FC \cdot \cos(\omega_1 \cdot t)$ angedeutet – auf, die den ersten Resonator 3 mit dem zweiten
Resonator 4 koppeln und damit den zweiten Resonator 4 zum Schwingen
anregen. Eine resultierende Ausleseschwingung der Frequenz ω_2 wird
abgegriffen, sodass ein entsprechendes Ausleseschwingungs-Abgriffsignal
25 (Auslesesignal) sowohl dem dritten als auch dem vierten Regelkreis
zugeführt wird. Im dritten Regelkreis wird dieses Signal durch den dritten
Demodulator 15 demoduliert, Summenfrequenzen durch das dritte
Tiefpassfilter 16 entfernt und das tiefpassgefilterte Signal dem
Quadraturregler 17 zugeführt, dessen Ausgangssignal den dritten Modulator
30 22 so beaufschlagt, dass entsprechende Quadraturanteile der
Ausleseschwingung rückgestellt werden. Analog hierzu wird im vierten
Regelkreis das Ausleseschwingungs-Abgriffsignal durch den vierten
Demodulator 19 demoduliert, durchläuft das vierte Tiefpassfilter 20, und ein
entsprechend tiefpassgefiltertes Signal beaufschlagt einerseits den
35 Drehratenregler 21, dessen Ausgangssignal proportional zur momentanen
Drehrate ist und als Drehraten-Messergebnis auf einen Drehratenausgang
24 gegeben wird, und andererseits den zweiten Modulator 18, der

1 entsprechende Drehratenanteile der Ausleseschwingung rückstellt.

Ein Corioliskreisel 1 wie oben beschrieben kann sowohl doppelresonant als auch nichtdoppelresonant betrieben werden. Wird der Corioliskreisel 1
5 doppelresonant betrieben, so ist die Frequenz ω_2 der Ausleseschwingung annähernd gleich der Frequenz ω_1 der Anregungsschwingung, wohingegen im nichtdoppelresonanten Fall die Frequenz ω_2 der Ausleseschwingung verschieden von der Frequenz ω_1 der Anregungsschwingung ist. Im Fall der Doppelresonanz beinhaltet das Ausgangssignal des vierten Tiefpassfilters 20
10 entsprechende Information über die Drehrate, im nichtdoppelresonanten Fall dagegen das Ausgangssignal des dritten Tiefpassfilters 16. Um zwischen den unterschiedlichen Betriebsarten doppelresonant/nichtdoppelresonant umzuschalten, ist ein Doppelschalter 25 vorgesehen, der die Ausgänge des dritten und vierten Tiefpassfilters 16, 20 wahlweise mit dem Drehratenregler
15 21 und dem Quadraturregler 17 verbindet.

Aufgrund unvermeidbarer Fertigungstoleranzen müssen leichte Fehlausrichtungen zwischen den Anregungskräften/Rückstellkräften/Kraftgebern/Abgriffen und den Eigenschwingungen des Resonators 2 (d.h.
20 den realen Anregungs- und Auslesemoden des Resonators 2) in Kauf genommen werden. Dies hat zur Folge, dass das Ausleseschwingungs-Abgriffssignal mit Fehlern behaftet ist. In einem derartigen Fall setzt sich das Ausleseschwingungs-Abgriffssignal also aus einem Teil, der von der realen Ausleseschwingung herrührt sowie aus einem Teil, der von der realen
25 Anregungsschwingung herrührt, zusammen. Der unerwünschte Teil verursacht einen Nullpunktfehler des Corioliskreisels, dessen Größe jedoch nicht bekannt ist, da beim Abgreifen des Ausleseschwingungs-Abgriffsignals nicht zwischen diesen beiden Teilen differenziert werden kann.

30 Die der Erfindung zugrunde liegende Aufgabe ist es, ein Verfahren bereit zu stellen, mit dem der oben beschriebene Nullpunktfehler bestimmt werden kann.

Diese Aufgabe wird durch das Verfahren gemäß den Merkmalen des
35 Patentanspruchs 1 gelöst. Ferner stellt die Erfindung einen Corioliskreisel gemäß Patentanspruch 6 bereit. Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen des Erfindungsgedankens finden sich in jeweiligen

1 Unteransprüchen.

Erfindungsgemäß wird bei einem Verfahren zur Ermittlung eines
Nullpunktfehlers eines Corioliskreisels die Frequenz (vorzugsweise die
5 Resonanzfrequenz) der Ausleseschwingung moduliert, das Ausgangssignal
eines Drehratenregelkreises oder Quadraturregelkreises des Corioliskreisels
synchron zur Modulation der Frequenz (Resonanzfrequenz) der
Ausleseschwingung demoduliert, um ein Hilfssignal zu erhalten, das ein
Maß für den Nullpunktfehler ist. Dann wird ein Kompensationssignal
10 erzeugt, das auf den Eingang des Drehratenregelkreises oder
Quadraturregelkreises gegeben wird, wobei das Kompensationssignal so
geregelt wird, dass die Größe des Hilfssignals möglichst klein wird.

Unter "Resonator" wird hierbei das gesamte in Schwingung versetzbare
15 Massensystem des Corioliskreisels verstanden, also mit Bezug auf Fig. 2 der
mit Bezugsziffer 2 gekennzeichnete Teil des Corioliskreisels.

Eine der Erfindung zugrunde liegende wesentliche Erkenntnis ist, dass eine
Änderung des Ausgangssignals des Drehratenregelkreises/
20 Quadraturregelkreises aufgrund einer Frequenzänderung der
Ausleseschwingung nur dann erfolgt, wenn ein entsprechender
Nullpunktfehler vorliegt, d. h. wenn Fehlausrichtungen zwischen den
Anregungskräften/Rückstellkräften/Kraftgebern/Abgriffen und den
Eigenschwingungen des Resonators bestehen. Wenn man daher ein
25 Kompensationssignal, das den durch die Fehlausrichtungen bewirkten
Nullpunktfehler im Ausleseschwingsungs-Abgriffssignal kompensiert, auf den
Eingang des Drehratenregelkreises/Quadraturregelkreises oder direkt auf
das Ausleseschwingsungs-Abgriffssignal gibt, so ändert sich auch das
Ausgangssignal des Drehratenregelkreises/Quadraturregelkreises bei einer
30 Frequenzänderung (insbesondere Resonanzfrequenzänderung) der
Ausleseschwingung nicht mehr. Da die Änderung des Ausgangssignals des
Drehratenregelkreises/Quadraturregelkreises durch das Hilfssignal erfasst
wird, kann der Nullpunktfehler wie folgt ermittelt und kompensiert werden:
Das Kompensationssignal wird so geregelt, dass das Hilfssignal (und damit
35 die Änderung im Ausgangssignal der Regelkreise) möglichst klein wird.

Vorzugsweise ist die Modulation der Frequenz (Resonanzfrequenz) der

1 Ausleseschwingung eine mittelwertfreie Modulation, die beispielsweise mit 55 Hz erfolgt.

Vorzugsweise wird das Hilfssignal tiefpassgefiltert, und auf Basis des
5 tiefpassgefilterten Hilfssignals wird das Kompensationssignal erzeugt. Das Kompensationssignal kann beispielsweise erzeugt werden durch Multiplikation eines geregelten, auf Basis des Hilfssignals erzeugten Signals mit einem Signal, das aus einem Amplitudenregler zur Regelung der Amplitude der Anregungsschwingung stammt. Vorzugsweise wird das
10 Hilfssignal aus dem Ausgangssignal des Quadraturregelkreises ermittelt, und das Kompensationssignal auf den Eingang des Drehratenregelkreises gegeben.

Die Erfindung stellt weiterhin einen Corioliskreisels bereit, der
15 gekennzeichnet ist durch eine Einrichtung zur Bestimmung des Nullpunktfehlers des Corioliskreisels, mit:

- einer Modulationseinheit, die die Frequenz der Ausleseschwingung des Corioliskreisels moduliert,
- einer Demodulationseinheit, die das Ausgangssignal eines
20 Drehratenregelkreises oder Quadraturregelkreises des Corioliskreisels synchron zur Modulation der Frequenz der Ausleseschwingung demoduliert, um ein Hilfssignal zu erhalten, das ein Maß für den Nullpunktfehler ist, und
- einer Regeleinheit, die ein Kompensationssignal erzeugt und auf den Eingang des Drehratenregelkreises oder Quadraturregelkreises gibt, wobei
25 die Regeleinheit das Kompensationssignal so regelt, dass das Hilfssignal möglichst klein wird.

Im Folgenden wird unter Bezugnahme auf die begleitenden Figuren die Erfindung in beispielsweise Ausführungsform näher erläutert. Es zeigen:

30

Figur 1 den schematischen Aufbau eines Corioliskreisels, der auf dem erfindungsgemäßen Verfahren basiert;

Figur 2 den schematischen Aufbau eines herkömmlichen Corioliskreisels;

35

Figur 3 eine Skizze zur Erläuterung des Zusammenspiels von Resonator, Kraftgebersystem und Abgriffssystem in einem Corioliskreisels;

1

Figuren 4a bis 4d eine Skizze zur Erläuterung der Kräfte und Schwingungsamplituden für einen Corioliskreisel in Doppelresonanz;

5

Figuren 5a bis 5d eine Skizze zur Erläuterung der Kräfte und Schwingungsamplituden für einen Corioliskreisel nahe Doppelresonanz;

10

Figuren 6a bis 6d eine Skizze zur Erläuterung des erfindungsgemäßen Verfahrens bei Doppelresonanz.

Figuren 7a bis 7d eine Skizze zur Erläuterung des erfindungsgemäßen Verfahrens nahe Doppelresonanz.

15

In den Zeichnungen sind Teile bzw. Einrichtungen, die denen aus Figur 2 entsprechen, mit den selben Bezugszeichen gekennzeichnet und werden nicht nochmals erläutert.

20

Zunächst soll die generelle Funktionsweise eines Corioliskreisels anhand der Figuren 3 bis 5 in Form einer Zeigerdiagrammdarstellung (Gauß'sche Zahlenebene) nochmals erläutert werden.

25

Das erfindungsgemäße Verfahren funktioniert nur, wenn im Mittel im Wesentlichen Doppelresonanz vorliegt. Die mit "Nahe Doppelresonanz" gekennzeichneten Zeichnungen zeigen die geänderten Verhältnisse, wenn durch die Modulation der Resonanzfrequenz der Ausleseschwingung die Situation "Nahe Doppelresonanz" vorliegt.

30

Figur 3 zeigt schematisch einen Corioliskreisel, genauer gesagt ein System 40 aus Resonator (nicht gezeigt), Kraftgebersystem 41 und Abgriffssystem 42 in einem Corioliskreisel. Weiterhin sind mögliche Schwingungen x (Anregung) und y (Auslesung) angedeutet, die bei Drehungen senkrecht zur Zeichenebene durch Corioliskräfte miteinander verkoppelt werden. Die x -Schwingung (komplex; in Resonanz rein imaginär) wird durch die Wechselkraft mit der komplexen Amplitude F_x (hier nur Realteil F_{xr}) angeregt. Die y -Schwingung (komplex) wird durch die Wechselkraft der

35

1 komplexen Amplitude F_y mit dem Realteil F_{yr} und dem Imaginärteil F_{yi} rückgestellt. Die Drehzeiger $\exp(i\omega t)$ sind jeweils weggelassen.

5 Figuren 4a bis 4d zeigen die komplexen Kräfte und komplexen Schwingungsamplituden für einen idealen Corioliskreisel mit gleicher Resonanzfrequenz von x- und y-Schwingung (Doppelresonanz). Die Kraft F_x wird so geregelt, dass sich eine rein imaginäre, konstante x-Schwingung einstellt. Dies wird erreicht durch einen Amplitudenregler 14, der den Betrag der x-Schwingung regelt, sowie einen Phasenregler 10/Frequenzregler 9, der
10 die Phase der x-Schwingung regelt. Die Betriebsfrequenz ω_l wird so geregelt, dass die x-Schwingung rein imaginär wird, d.h. der Realteil der x-Schwingung auf null geregelt wird.

15 Die Corioliskraft bei Drehung, F_C , ist nun rein reel, da die Corioliskraft der Geschwindigkeit der x-Schwingung proportional ist. Haben beide Schwingungen die gleiche Resonanzfrequenz, so gestaltet sich die y-Schwingung, verursacht durch die Kraft F_C , wie in Fig. 4d dargestellt. Sind die Resonanzfrequenzen von x- und y-Schwingung leicht verschieden, so liegen komplexe Kräfte und komplexe Schwingungsamplituden vor, die sich
20 wie in Figuren 5a bis 5d gezeigt gestalten. Insbesondere liegt eine durch F_C angeregte y-Schwingung wie in Figur 5d gezeigt vor.

Bei Vorliegen von Doppelresonanz ist der Realteil des y-Abgriffsignals null, bei Nichtvorliegen hingegen nicht. In beiden Fällen wird bei rückgestellten
25 Kreisläufen die Corioliskraft F_C durch einen Regler für F_{yr} , der F_C kompensiert, genullt. Bei Corioliskreisläufen, die doppelresonant betrieben werden, wird der Imaginärteil von y mittels F_{yr} genullt, der Realteil von y wird mittels F_{yi} genullt. Die Bandbreite der beiden Regelungen beträgt etwa 100 Hz.

30 Nun wird unter Bezugnahme auf Figur 1 das erfindungsgemäße Verfahren in beispielsweise Ausführungsform näher erläutert.

35 Ein rückstellender Corioliskreisel 1' ist zusätzlich mit einer Demodulationseinheit 26, einem fünften Tiefpassfilter 27, einer Regeleinheit 28, einer Modulationseinheit 29 und einem ersten Multiplikator 30 beziehungsweise alternativ einem zweiten Multiplikator 31 versehen.

1

Die Modulationseinheit 29 moduliert die Frequenz der Ausleseschwingung des Resonators 2 mit einer Frequenz ω_{mod} . Ein Ausgangssignal des Quadraturregelkreises wird der Demodulationseinheit 26 zugeführt, die dieses Signal synchron zur Frequenz ω_{mod} demoduliert, um ein Hilfssignal zu erhalten. Liegt ein Nullpunktfehler vor (d.h. liegen Fehlausrichtungen zwischen den Anregungskräften/Rückstellkräften/Kraftgebern/Abgriffen und den Eigenschwingungen des Resonators 2 vor), so ändert sich die Stärke des Hilfssignals in Abhängigkeit der Frequenz der Ausleseschwingung. Das Hilfssignal wird dem fünften Tiefpassfilter 27 zugeführt, das ein tiefpassgefiltertes Signal erzeugt und dieses der Regeleinheit 28 zuführt. Die Regeleinheit 28 erzeugt auf Basis des tiefpassgefilterten Hilfssignals ein Signal, das an den ersten Multiplikator 30 ausgegeben wird. Dieser multipliziert das von der Regeleinheit 28 ausgegebene Signal mit einem Signal, das aus dem Amplitudenregler 14 zur Regelung der Amplitude der Anregungsschwingung stammt. Ein durch die Multiplikation entstehendes Kompensationssignal wird auf den Eingang des Drehratenregelkreises aufsummiert. Die Regeleinheit 28 regelt das dem ersten Multiplikator 30 zugeführte Signal so, dass die Größe des Hilfssignals möglichst klein wird. Damit ist der Nullpunktfehler beseitigt. Desweiteren kann die Größe des Nullpunktfehlers durch das Kompensationssignal bestimmt werden, das ein Maß für den Nullpunktfehler darstellt. Alternativ kann das Ausgangssignal der Regeleinheit 28 dem zweiten Multiplikator 31 zugeführt werden, der dieses Signal mit dem Anregungsschwingungs-Abgriffssignal multipliziert und ein dadurch erzeugtes Kompensationssignal auf das Ausleseschwingungs-Abgriffssignal aufaddiert. Der Begriff "Regeleinheit" ist nicht auf die Regeleinheit 28 beschränkt, sondern kann auch die Kombination aus Regeleinheit 28 und dem ersten bzw. zweiten Multiplikator 30, 31 bedeuten.

30

Das der Demodulationseinheit 26 zugeführte Signal kann alternativ auch an einer anderen Stelle innerhalb der Regelkreise abgegriffen werden.

35

Das eben beschriebene erfindungsgemäße Verfahren lässt sich unter Bezugnahme auf Figuren 6a bis 6d und 7a bis 7d auch wie folgt darstellen:

Der Abgriff der y-Schwingung (zweiter Resonator x2, 4) "sieht" i. a. auch

- 1 einen Teil der x-Schwingung (erster Resonator x_1 , 3): $a_{21} \cdot x$. Dadurch wird
ein Nullpunktfehler des Corioliskreisels verursacht, den es zu ermitteln gilt.
Figuren 6a bis 6d zeigen die Situation bei Doppelresonanz, Figuren 7a bis
7d die Situation nahe Doppelresonanz. In beiden Fällen wird das
5 Summensignal von tatsächlicher y-Bewegung und $a_{21} \cdot x$ mittels F_{y1} und F_{y2}
"genullt". Wenn a_{21} ungleich null ist, ergibt sich bei einer Drehrate null F_{x2}
zu ungleich null (Nullpunktfehler). F_{y1} wird nur null, wenn Doppelresonanz
vorliegt. Bei Abweichungen der Resonanzfrequenzen entsteht ein
Quadraturbias.
- 10 Die Kompensation von a_{21} erfolgt nun erfindungsgemäß wie folgt. Der
Kreisel sei in Doppelresonanz. Die elektronisch verstimmbare
Resonanzfrequenz der Ausleseschwingung wird durch die
Modulationseinheit 29 mittelwertfrei moduliert (z. B. mit 55 Hz) und das
15 Signal F_{y1} durch die Demodulationseinheit 26 synchron bei geschlossenen
Rückstellregelkreisen demoduliert. Wäre a_{21} null, so würde sich F_{y1} mit der
Frequenz nicht ändern, es ändert sich nur im Falle a_{21} ungleich null. Im
letzteren Fall ist das tiefpassgefilterte, synchron demodulierte F_{y1} -Signal
ungleich null. Das demodulierte Signal wird der Regeleinheit 28
20 (vorzugsweise in Form von Software realisiert) zugeführt, der einen Faktor
 a_{21comp} (Hilfsgröße) regelt. Vom Signal des y-Abgriffs wird ein geregelter
Anteil der x-Bewegung, $a_{21comp} \cdot x$, abgezogen (vorzugsweise in der
Software). Die Größe dieses Anteils, a_{21comp} , wird so geregelt, dass das
demodulierte F_{y1} -Signal null wird. Damit befindet sich im so bereinigten
25 Signal des y-Abgriffs kein x-Signalanteil mehr, und der durch die
Auslesekreuzkopplung hervorgerufene Bias verschwindet. Bei
Doppelresonanz und gleichen Güten würde schon alleine ein
Kraftkreuzkopplungsregler den durch die Auslesekreuzkopplung
verursachten Bias nullen. Der Grund hierfür ist, dass die Modulation von
30 F_{x2} auch ein wenig die Amplitude von x moduliert. Damit werden über den
Kraftkreuzkopplungsregler die Summe von Kraftanteil von x in F_{y2} und der
Ausleseanteil von x im y-Abgriff genullt. Bei gleicher Güte verschwindet der
Bias damit.
- 35 Alternativ kann zur Modulation der Ausleseschwingung auch Rauschen
verwendet werden. In einem derartigen Fall findet entsprechende synchrone
Demodulation des Rauschanteils im Auslesesignal Anwendung.

1 Patentansprüche

1. Verfahren zur Kompensation eines Nullpunktfehlers eines Corioliskreisels (1'), bei dem

- 5 - die Frequenz der Ausleseschwingung moduliert wird,
- das Ausgangssignal eines Drehratenregelkreises oder
- Quadraturregelkreises des Corioliskreisels (1') synchron zur Modulation der
- Frequenz der Ausleseschwingung demoduliert wird, um ein Hilfssignal zu
- erhalten, das ein Maß für den Nullpunktfehler ist,
- 10 - ein Kompensationssignal erzeugt wird, das auf den Eingang des
- Drehratenregelkreises oder Quadraturregelkreises gegeben wird, wobei
- das Kompensationssignal so geregelt wird, dass die Größe des
- Hilfssignals möglichst klein wird.

15 2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Modulation der Frequenz der Ausleseschwingung eine mittelwertfreie Modulation ist.

20 3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass
das Hilfssignal tiefpassgefiltert wird, und auf Basis des tiefpassgefilterten
Hilfssignals das Kompensationssignal erzeugt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Kompensationssignal erzeugt wird durch Multiplikation eines geregelten, auf Basis des Hilfssignal erzeugten Signals mit einem Signal, das von einem Amplitudenregler zur Regelung der Amplitude der Anregungsschwingung stammt.

5. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch
gekennzeichnet, dass das Hilfssignal aus dem Ausgangssignal des
Quadraturregelkreises ermittelt wird, und das Kompensationssignal auf den
Eingang des Drehratenregelkreises gegeben wird.

35 6. Corioliskreisels (1'), gekennzeichnet durch eine Einrichtung zur Bestimmung des Nullpunktfehlers des Corioliskreisels (1'), mit:
- einer Modulationseinheit (29), die die Frequenz der Ausleseschwingung des Corioliskreisels (1') moduliert,

- 12 -

- 1 - einer Demodulationseinheit (26), die das Ausgangssignal eines
Drehratenregelkreises oder Quadraturregelkreises des Corioliskreisels (1')
synchron zur Modulation der Frequenz der Ausleseschwingung
demoduliert, um ein Hilfssignal zu erhalten, das ein Maß für den
5 Nullpunktfehler ist, und
- einer Regeleinheit (28), die ein Kompensationssignal erzeugt und auf
den Eingang des Drehratenregelkreises oder Quadraturregelkreises gibt,
wobei die Regeleinheit (28) das Kompensationssignal so regelt, dass das
Hilfssignal möglichst klein wird.

10

15

20

25

30

35

1/5

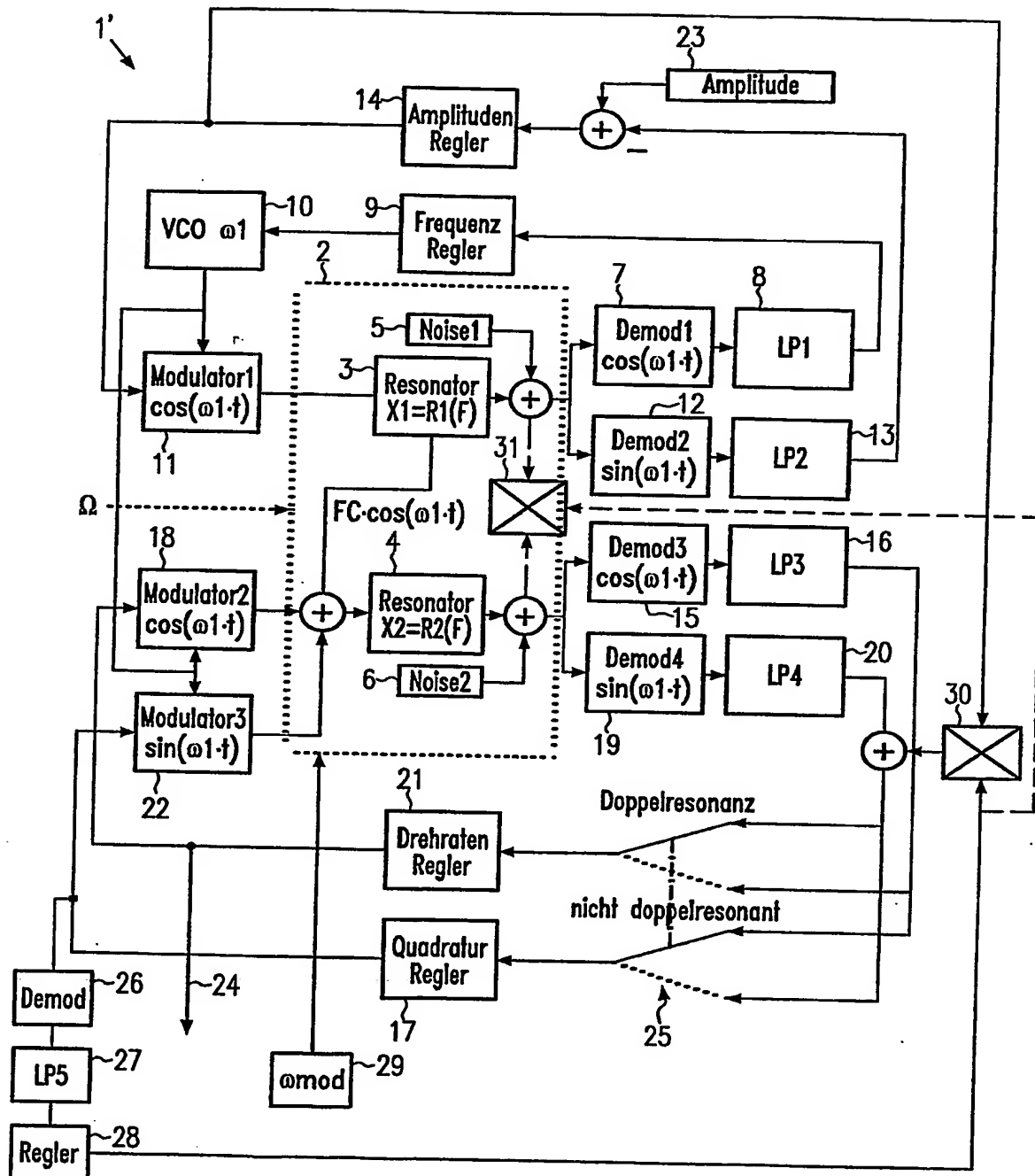


Fig.1

2/5

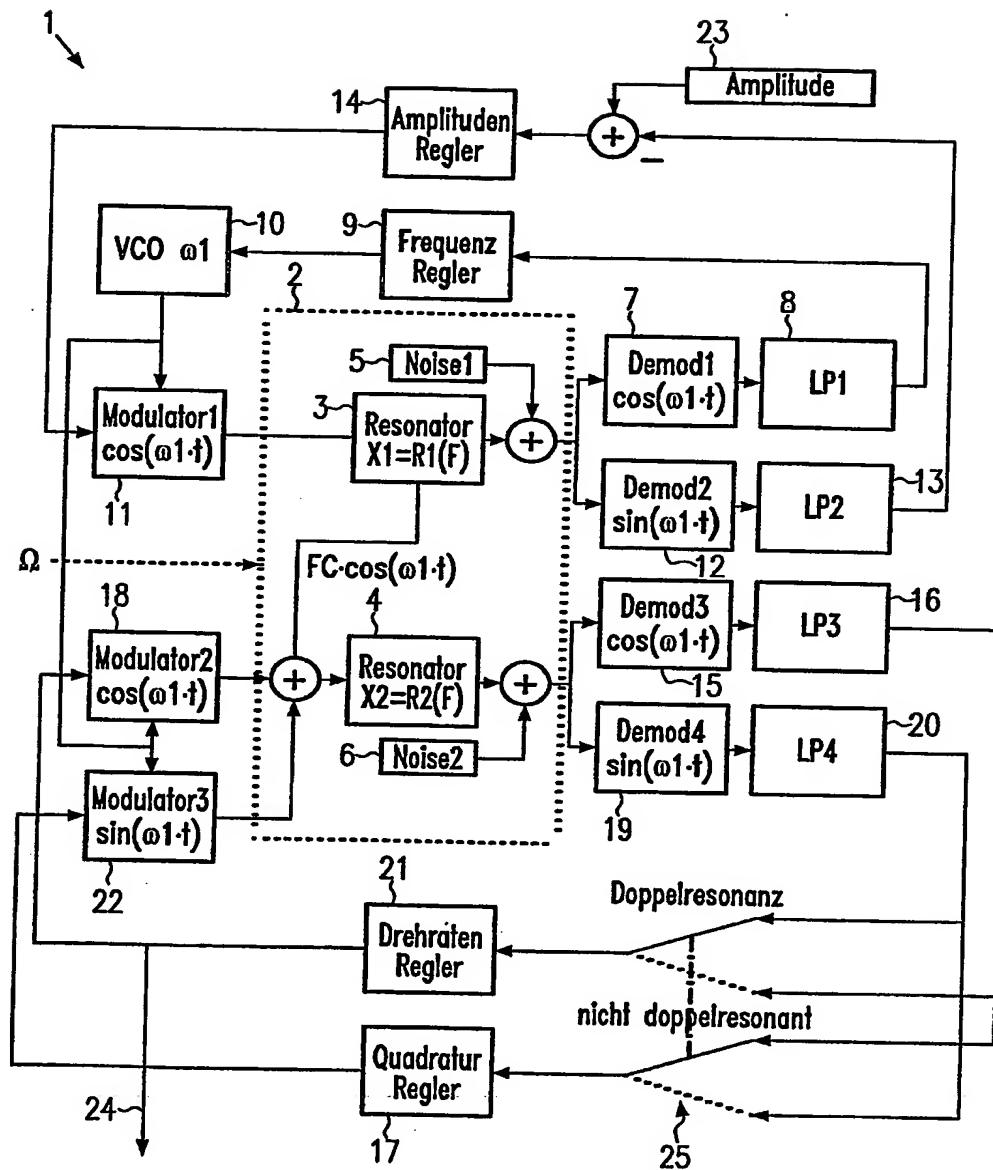


Fig.2

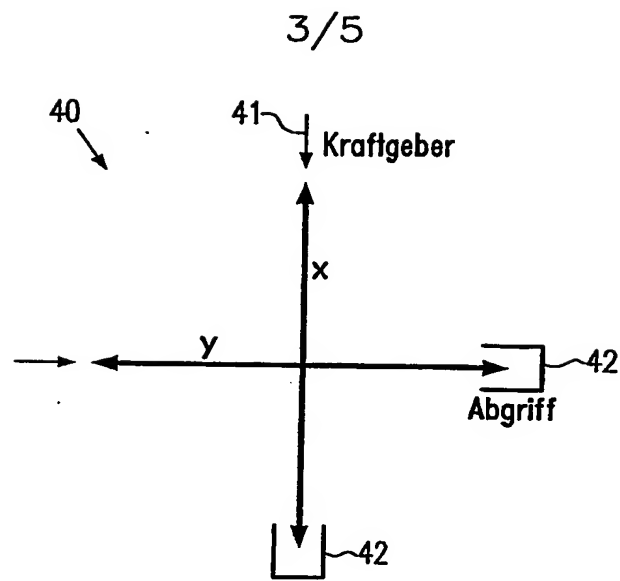


Fig.3

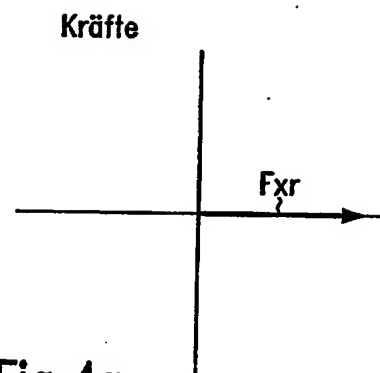


Fig.4a

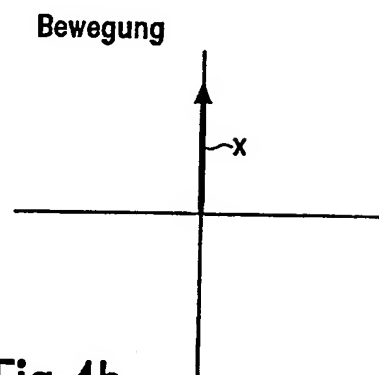


Fig.4b

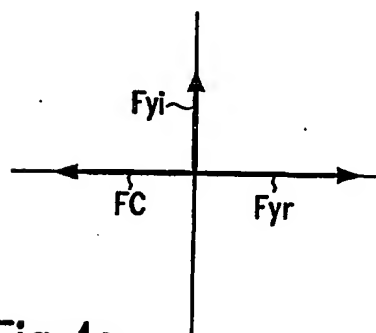


Fig.4c

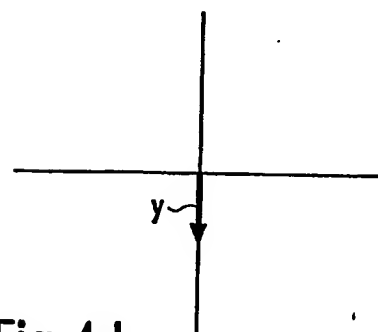


Fig.4d

4/5

Kräfte

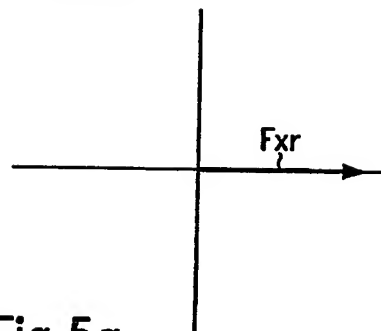


Fig.5a

Bewegung

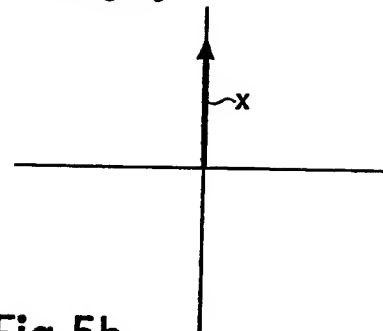


Fig.5b

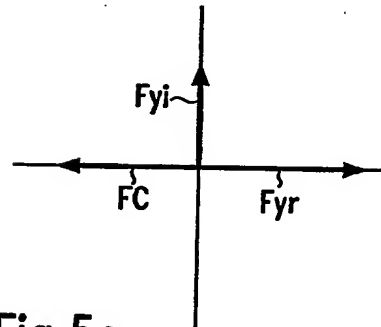


Fig.5c

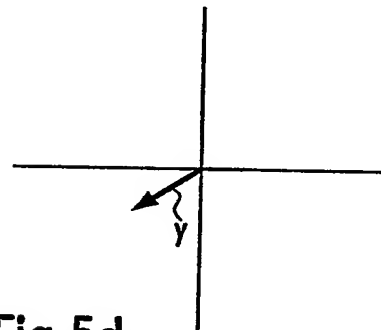
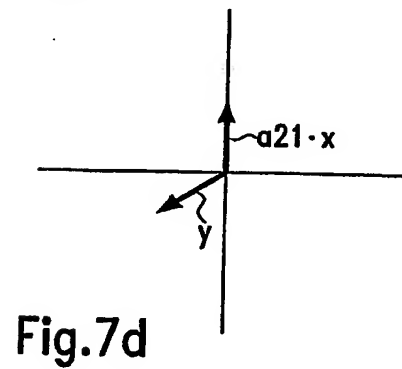
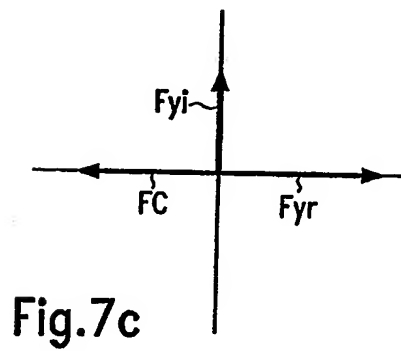
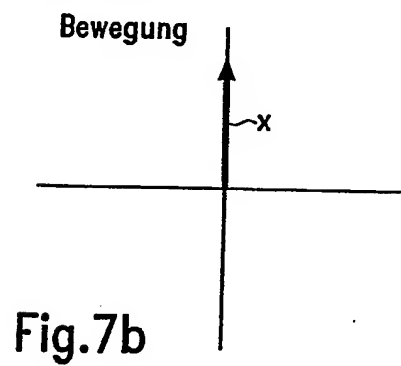
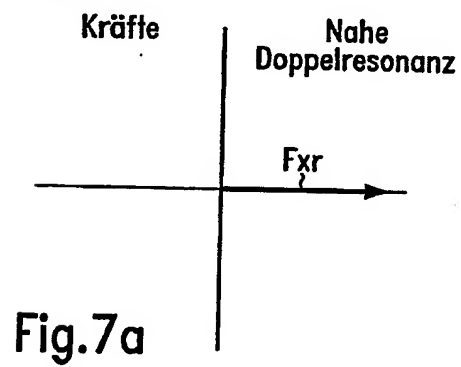
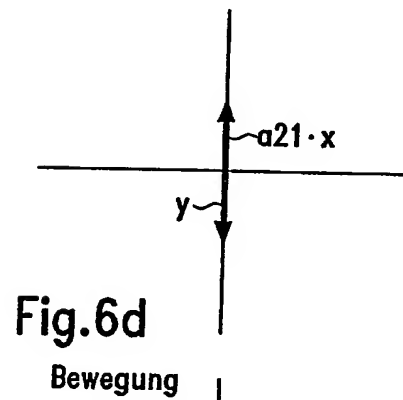
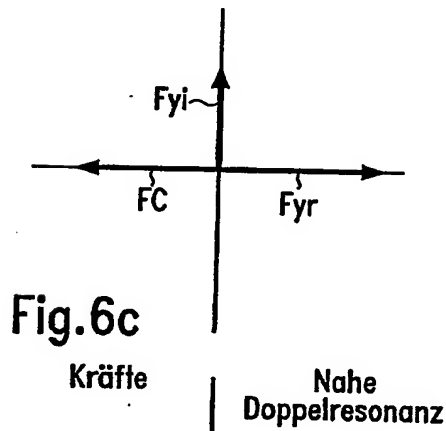
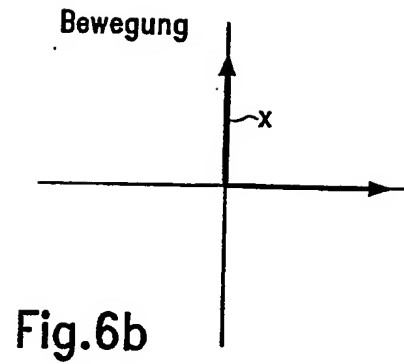
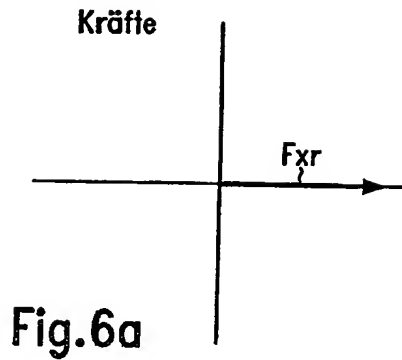


Fig.5d

5/5



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/EP2004/003247

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 G01C19/56

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC 7 G01C G01P

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 5 908 986 A (MITAMURA TAKESHI) 1 June 1999 (1999-06-01) column 8, line 10 - column 19, line 67; figures 1A,6A	1-6
A	WO 01/14831 A (BOSCH GMBH ROBERT ; NEUL REINHARD (DE); LORENZ GUNAR (DE); FUNK KARSTE) 1 March 2001 (2001-03-01) page 4, line 34 - page 12, line 20; figures 2,3	1-6
A	DE 100 62 347 A (BOSCH GMBH ROBERT) 20 June 2002 (2002-06-20) column 3, line 24 - column 8, line 41; figures 3a,5	1-6

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- *&* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

28 June 2004

Date of mailing of the international search report

07/07/2004

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Springer, O

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP2004/003247

Patent document cited in search report		Publication date		Patent family member(s)	Publication date
US 5908986	A	01-06-1999	JP	9236436 A	09-09-1997
WO 0114831	A	01-03-2001	DE	19939998 A1	01-03-2001
			WO	0114831 A1	01-03-2001
			EP	1123484 A1	16-08-2001
			JP	2003507728 T	25-02-2003
			US	6553833 B1	29-04-2003
DE 10062347	A	20-06-2002	DE	10062347 A1	20-06-2002
			WO	0248649 A1	20-06-2002
			EP	1348105 A1	01-10-2003
			JP	2004515774 T	27-05-2004
			US	2003121307 A1	03-07-2003

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2004/003247

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 7 G01C19/56

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
IPK 7 G01C G01P

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 5 908 986 A (MITAMURA TAKESHI) 1. Juni 1999 (1999-06-01) Spalte 8, Zeile 10 - Spalte 19, Zeile 67; Abbildungen 1A,6A	1-6
A	WO 01/14831 A (BOSCH GMBH ROBERT ; NEUL REINHARD (DE); LORENZ GUNAR (DE); FUNK KARSTE) 1. März 2001 (2001-03-01) Seite 4, Zeile 34 - Seite 12, Zeile 20; Abbildungen 2,3	1-6
A	DE 100 62 347 A (BOSCH GMBH ROBERT) 20. Juni 2002 (2002-06-20) Spalte 3, Zeile 24 - Spalte 8, Zeile 41; Abbildungen 3a,5	1-6

☐ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

E Älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

L Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

O Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

P Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

G Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

28. Juni 2004

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

07/07/2004

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Springer, O

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2004/003247

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
US 5908986	A	01-06-1999	JP	9236436 A	09-09-1997
WO 0114831	A	01-03-2001	DE	19939998 A1	01-03-2001
			WO	0114831 A1	01-03-2001
			EP	1123484 A1	16-08-2001
			JP	2003507728 T	25-02-2003
			US	6553833 B1	29-04-2003
DE 10062347	A	20-06-2002	DE	10062347 A1	20-06-2002
			WO	0248649 A1	20-06-2002
			EP	1348105 A1	01-10-2003
			JP	2004515774 T	27-05-2004
			US	2003121307 A1	03-07-2003